

# Was liest man aus einem Spektrum? : Das Spektrum des Quasars 3C273

Autor(en): **Walker, Richard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **71 (2013)**

Heft 378

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-897660>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Was liest man aus einem Spektrum?

# Das Spektrum des Quasars 3C273

■ Von Richard Walker

*In dieser Zeitschrift sind bereits früher Einführungsartikel zur Astrospektroskopie erschienen, so z. B. «Die Farben der Sterne» von ROGER BRÜDERLIN in Orion 343. Darauf aufbauend soll hier nun am spektakulären Beispiel von 3C273 gezeigt werden, welche Informationen Amateure heute mit bescheidenem Aufwand und einfachen Formeln aus einem Spektrum gewinnen können und dass wir bei solch extremen Distanzen bei der Datenauswertung auch mit «kosmologischen Effekten» konfrontiert werden.*



Abbildung 1: DADOS-Spektrograf mit vorgeschaltetem Klappspiegel, Spaltkamera DSI II und Aufnahmekamera Atik 314L+. (Bild: Richard Walker)

Verwendet wurden der niedrig auflösende DADOS-Spalt spektrograf [6], der für sehr lichtschwache Objekte, aber auch für Einsteiger gut geeignet ist, ein Celestron C8 sowie die Astrokamera Atik 314L+ (Abb. 1). Die Erstellung und Auswertung der Spektralprofile erfolgte mit der Freeware IRIS und Visual Spec.

In den Dokumenten unter [1] sind eine ausführlichere Darstellung zu 3C273, mit entsprechendem Literaturverzeichnis und einer Aufsuchkarte, aber auch generelle Ein-

führungstexte zur Spektroskopie zu finden. Für weitere Informationen und Ratschläge stehen sowohl der Autor als auch die anderen Mitglieder der SAG Fachgruppe Spektroskopie [2] gerne zur Verfügung.

## Quasar 3C273

Der scheinbar hellste Quasar ist 3C273 im Sternbild Jungfrau. Er wird mit seiner Distanz von ca. 2.5 Mrd. Lichtjahren häufig als das ent-

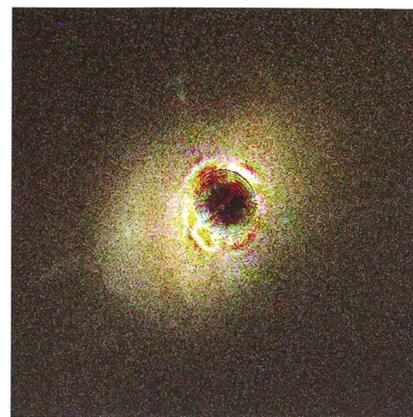


Abbildung 2: Quasar 3C273, Bild Koronograf HST. (Quelle: NASA/ESA)

fernteste Objekt bezeichnet, welches mit durchschnittlichen Amateurmitteln, rein visuell und ohne den Einsatz von Astrokameras, noch gesehen werden kann. Die Bezeichnung 3C273 bedeutet die Objekt Nummer 273 in RYLES 3. Cambridge Katalog der Radioquellen von 1959. Die Bezeichnung «Quasar» stammt von Quasistellar Object (QSO), weil diese Objekte als punktförmige Lichtquellen erscheinen. Eine solche entdeckte MAARTEN SCHMIDT 1963 bei den Koordinaten eines entsprechenden Eintrages im besagten Katalog. Schnell wurde klar, dass dieses Objekt die damals grösste bekannte Rotverschiebung zeigte und somit kein Stern sein konnte. Zudem unterschieden sich die gewonnenen Spektren drastisch von stellaren Profilen und glichen eher solchen von Wolf Rayet Sternen oder gar Nova Ausbrüchen. Nach aktuellem Forschungsstand sind Quasare die energiereichste und leuchtkräftigste Variante der Galaxien mit aktiven Kernen (AGN). Im Zentrum solcher Objekte sitzt immer ein supermassives Schwarzes Loch, welches über eine

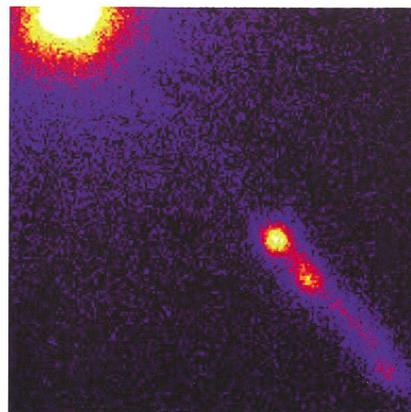


Abbildung 3: Quasar 3C273 mit Jet, Röntgensatellit Chandra. (Bild: NASA)

Akkretionsscheibe gewaltige Mengen an Materie aus der umgebenden Galaxie ansammelt. Deshalb sind Quasare auch starke Quellen von Röntgen- und Radiostrahlung. Die stark streuenden Literaturwerte deuten für das Schwarze Loch von 3C273 auf ca. eine Mrd. Sonnenmassen (Abb. 2).

Das punktförmige Erscheinen der Quasare wird durch die enorme Helligkeit ihrer Kerne erklärt, welche den Rest der Galaxie völlig überstrahlen. Sie gelten, abgesehen von den episodisch auftretenden Supernova-Explosionen, als die leuchtkräftigsten Objekte des Universums. Abb. 3, aufgenommen mit dem Röntgensatelliten CHANDRA,

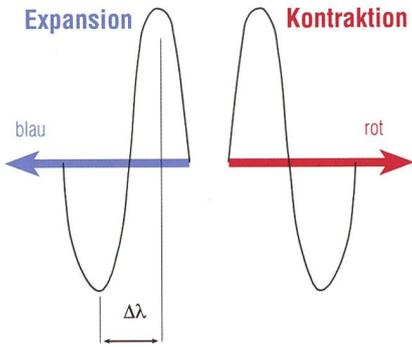


Abbildung 5: Schematische P Cygni Profile. links Expansion, rechts Kontraktion. (Grafik: Thomas Baer)

zeigt einen Jet mit der geschätzten Länge von 200'000 Lj. Dieser wird durch einen umgelentkten Teil des Akkretionsflusses verursacht, welcher vom Schwarzen Loch mit ca. 70% der Lichtgeschwindigkeit in die Richtung seiner Rotationsachse ausgestossen wird. Dieses Merkmal ist für Amateure, im uns zugänglichen, optischen Spektralbereich, weder nachweis- noch messbar.

Da Quasare nur in sehr grosser Entfernung beobachtet werden, sehen wir möglicherweise ein Frühstadium der Galaxienentwicklung. Auch gewöhnliche Galaxien wie die Milchstrasse besitzen im zentralen «Bulge» ein massives Schwarzes Loch, dessen Akkretionsprozess aber zum Erliegen gekommen ist.

## Spektrale Merkmale von 3C273

Das Diagramm in Abb. 4 zeigt das Spektrum des Quasars im optischen Wellenlängenbereich. Dieses mit einer scheinbaren Helligkeit von +12.7<sup>mag</sup> leicht veränderliche Objekt

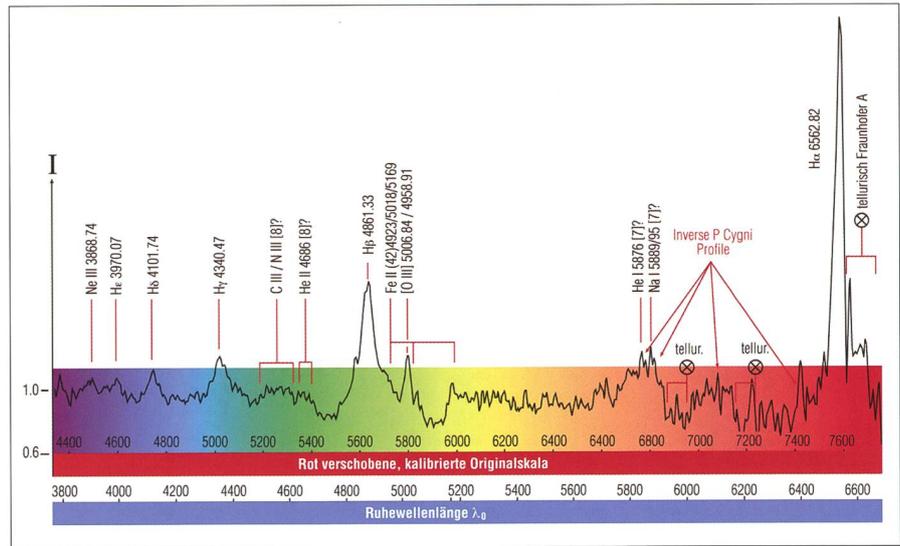


Abbildung 4: Spektrum des Quasars 3C273 im optischen Wellenlängenbereich, aufgenommen mit dem DADOS Spaltspektrografen (Gitter: 200 Linien/mm) (Grafik: Thomas Baer nach Richard Walker)

wurde mit 5x20 Minuten im 2x2 Binning Mode belichtet. Die rote Skala zeigt die massiv rotverschobenen Wellenlängen in Angström [Å], wie sie sich nach der Kalibration mit der Eichlichtquelle ergeben. Die blaue Skala bezieht sich auf die nicht verschobenen, sog. Ruhewellenlängen  $\lambda_0$ , wie sie hier im Labor gemessen werden. Im Wesentlichen sind hier die nach oben ausschlagenden Emissionslinien der Wasserstoff-Balmerserie (H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ , H $\epsilon$ ) sowie diejenigen des ionisierten Heliums (He II), Eisens (Fe II) und Neons (Ne III) zu sehen. Die H $\alpha$ -Emission ist soweit rotverschoben, dass sie hier von der intensiven, erdatmosphärisch verursachten

und daher nicht verschobenen FRAUNHOFER A-Linie überlagert und so stark deformiert wird.

## Radialgeschwindigkeit $v_r$ der Materiebewegung

Die eindruckliche, hauptsächlich Doppler-Effekt bedingte Verbreiterung der Emissionslinien zeigt, dass hier eine intensive Materiebewegung mit hoher Radialgeschwindigkeit  $v_r$ , d.h. auf der Achse unseres Sehstrahls zu 3C273, stattfindet. In welchem Bereich um das Schwarze Loch kann nicht festgestellt werden, da wir dieses punktförmig erscheinende Objekt nur im integrier-

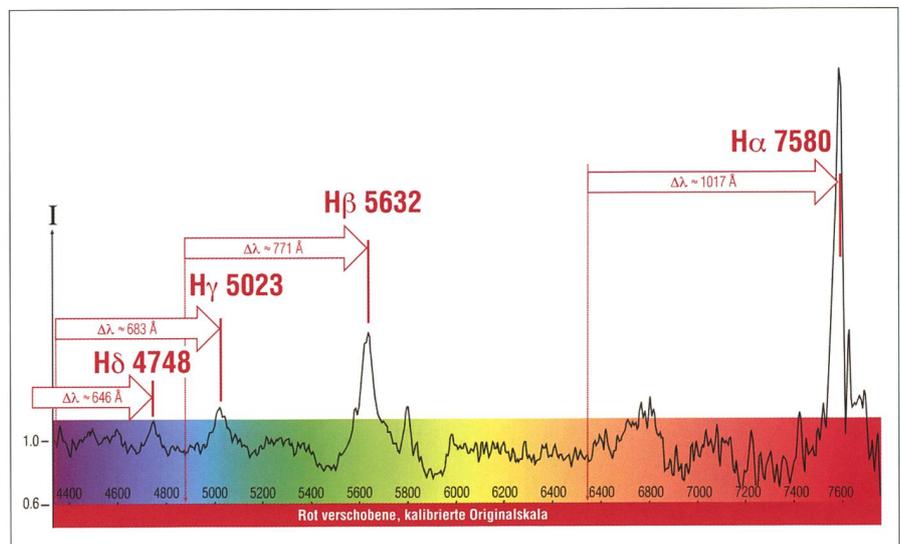


Abbildung 6: Rotverschiebung der Wasserstoff Emissionen im Spektrum von 3C273. (Grafik: Thomas Baer nach Richard Walker)

ten Licht aufnehmen können. Dieser Geschwindigkeitswert  $v_r$  wird hier mit der sog. Halbwertsbreite (oder FWHM, Full Width at Half Maximum) der H $\beta$  Emissionslinie von ca. 88 Å abgeschätzt. Dies erfolgt über das spektroskopische Dopplergesetz, wobei  $\lambda_{0, H\beta}$  die nicht verschobene Ruhe- oder Laborwellenlänge der H $\beta$ -Linie von 4861 Å und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit bedeutet.

$$v_r \approx \frac{\text{FWHM}_{\text{Emission H}\beta}}{\lambda_{0, H\beta}} \cdot c \quad \{1\}$$

Dies ergibt einen Wert von  $v_r > 5000 \text{ km/s}$ .

## Kontraktionsprozesse

Dass neben den obigen, hohen Radialgeschwindigkeiten, vermutlich im Bereich der Akkretionsscheibe, Kontraktionsbewegungen mit der wesentlich geringeren Geschwindigkeit  $v_k$  ablaufen, zeigen in Abb. 4 die sog. inversen P Cygni Profile, speziell im Bereich von 6100 – 6400 Å. Dieses häufig zu beobachtende, spektrale Merkmal ist nach P Cygni benannt und besteht aus einer nach oben abgehenden Emissionslinie und einer direkt folgenden, nach unten tauchenden Absorption (Abb. 5). Beim namensgebenden Stern sind die Absorptionen «blauseitig» versetzt und zeigen die Expansion seiner Sternhülle. Hier, bei 3C273, sind sie aber «invers», d.h. auf die «rote Seite» der Emission verschoben und dokumentieren deshalb einen Kontraktionsvorgang.

Mit dem gemessenen Verschiebungsbetrag  $\Delta\lambda \approx 20 \text{ Å}$  ergibt die Abschätzung mit dem spektroskopischen Dopplergesetz  $v_k \approx 1000 \text{ km/s}$ .

$$v_k = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot c \quad \{2\}$$

## Verschiebungsmessung im Spektralprofil

Die Differenz  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ , zwischen einer verschobenen Spektrallinie mit der Wellenlänge  $\lambda$  und ihrer genau bekannten Ruhewellenlänge  $\lambda_0$  kann sehr einfach in einem Profil gemessen werden, welches mit einer Eichlichtquelle absolut kalibriert worden ist. In Abb. 6 sind im Spektralprofil die eindrücklichen Verschiebungsbeträge der Wasserstoff-Emissionen markiert, deren Grösse sich proportional zu den je-

Linie	$\lambda_{\text{rotverschoben}}$	$\lambda_0$	$\Delta\lambda$	z
H $\beta$	5632	4861	771	0.1586
H $\gamma$	5023	4340	683	0.1574
H $\delta$	4748	4102	646	0.1574

Tabelle 1: Aus den Rotverschiebungen  $\Delta\lambda$  berechnete z-Werte für 3C273

weiligen Ruhewellenlängen  $\lambda_0$  verhält.

Die Rotverschiebung bedeutet, dass sich das Objekt von uns entfernt. Das Gegenteil erfolgt, mit negativem Vorzeichen, bei einer Blauverschiebung, wie wir sie z.B. bei M31 oder M33 messen (siehe Tabelle 2).

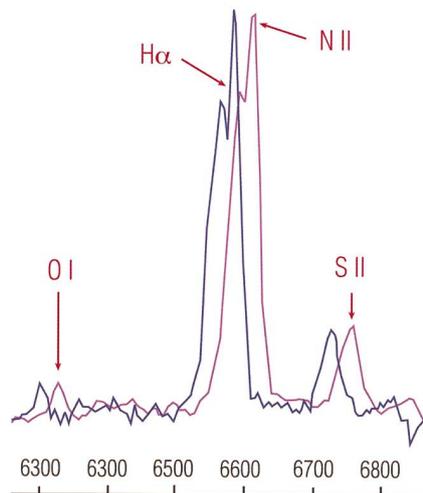


Abbildung 7: Rotverschiebung der H $\alpha$ -, N II- und S II Emissionen im Spektrum von M77. (Grafik: Thomas Baer nach Richard Walker)

## Der z-Wert

Der z-Wert hat kosmologisch fundamentale Bedeutung und kann sehr einfach aus den einzelnen  $\Delta\lambda$  Beiträgen, im Verhältnis zu den entsprechenden Ruhewellenlängen  $\lambda_0$ , berechnet werden.

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \quad \{3\}$$

Der Literaturwert für z liegt gemäss NASA Extragalactic Database NED [4] bei  $z \approx 0.1583$ . Damit sind die hier gewonnenen Messwerte auf fast drei Kommastellen konsistent. Dass dies kein Zufallstreffer ist, zeigen eigene Wiederholungen der Messung sowie eine weitere, welche THOMAS SAUER in der Umgebung von München mit vergleichbarem Equipment durchgeführt hat. Die

Angebote für Einsteiger und Profi - Ihr Partner in der Schweiz!

**Astro-Optik von Bergen GmbH**

In unserem Sortiment finden Sie Artikel von: AOK - ASA - ASTRONOMIK - BAADER - BRESSER - CANON - CELESTRON - CORONADO - EURO EMC - GSO - HOPHEIM - INTES MICRO - KOWA - LUMICON - MEADE - 10 MICRON - NIKON - ORION - PELL - PLANEWAVE - PWO - SBIG - TAHAKASHI - TELE VUE - THE IMAGING SOURCE TS - TELRAD - VIXEN - ZEISS

[www.fernrohr.ch](http://www.fernrohr.ch)

Eduard von Bergen dipl. Ing. FH  
CH-6060 Sarnen / Tel. ++41 (0)41 661 12 34

Unsere langjährige Erfahrung in der visuellen und fotografischen Astronomie ist Ihre Beratung!

«Raumzeitgitters» zunehmend bedeutungslos wird. Die Rotverschiebung hat hier deshalb nichts mit dem Dopplereffekt zu tun.

Zur Berechnung von  $v_f$  muss nun der z-Wert von 0.1583 lediglich mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  multipliziert werden.

$$v_f = c \cdot z \quad \{4\}$$

Dies ergibt  $v_f \approx 47'490 \text{ km/s}$  oder ca. 16% der Lichtgeschwindigkeit. Es ist aber leicht zu sehen, dass hier bei Werten ab  $z > 1$  die «Fluchtgeschwindigkeit»  $v_f$  die Lichtgeschwindigkeit  $c$  übertreffen würde. Somit beschränkt sich der Gültigkeitsbereich von {4} auf Werte von  $z \ll 1$ . Für den allgemeingültigen Fall steht eine einfache, modifizierte «Dopplerformel» zur Verfügung, welche relativistische Effekte berücksichtigt und somit das Überschreiten von  $c$  verhindert.

$$v_{f, \text{rel}} = c \cdot \frac{(z + 1)^2 - 1}{(z + 1)^2 + 1} \quad \{5\}$$

Wenn  $z$  in {5} eingesetzt wird, reduziert sich die «Fluchtgeschwindigkeit» von 3C273 deutlich auf  $v_{f, \text{rel}} = 43'808 \text{ km/s}$  (CDS Datenbank [3];  $43'751 \text{ km/s}$ ).

## Z-Wert und Distanzbestimmung

Infolge der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit hat sich der z-Wert im extragalaktischen Bereich sowohl als Mass für die Distanz als auch für die Vergangenheit etabliert. Zudem bleibt er völlig unabhängig von den debattierten, kosmologischen Modellparametern und kann sehr einfach, d.h. direkt im Spektralprofil, gemessen werden. Der aktuelle Rekord liegt bei  $z \approx 10$  (Abell 1835).

Die Distanz  $D$  lässt sich gemäss EDWIN HUBBLE zwar einfach ermitteln, indem man die «Fluchtgeschwindigkeit»  $v_f$  durch den Hubbleparameter  $H_{(t)} \approx 73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  dividiert ( $\text{Mpc} = \text{Megaparsec}$ ).

$$D \approx \frac{v_f}{H_{(t)}} \quad \{6\}$$

Infolge der Raumexpansion wird jedoch bei solch extremen Entfernungen die klassische Vorstellung von Distanz, gemessen in Lichtjahren [Lj] oder Parsec [pc], problematisch und das HUBBLE-Gesetz {6} darf spätestens ab  $z \approx 0.1$  (~400 Mpc) nicht mehr als proportional, d.h. ohne Berücksichtigung kosmologischer

Galaxie	Sternbild	Entfernung D [Mio. Lj]	z-Wert	Effektive Radialgeschwindigkeit $v_r$ [km/s]	Kosmologische Fluchtgeschwindigkeit $v_f$ [km/s]
M 31	Andromeda	2.6	-0.0010	-300	+58
M 33	Dreieck	2.9	-0.0006	-179	+64
M 81	Grosser Bär	12	-0.0001	-34	+270
M 82	Grosser Bär	12	+0.0007	+203	+277
M 101	Grosser Bär	22	+0.0008	+241	+503
M 51	Grosser Bär	27	+0.0020	+600	+606
M 66	Löwe	32	+0.0024	+727	+730
M 77	Walfisch	44	+0.0038	+1137	+986
M 98	Haar der Berenike	52	-0.0005	-142	+1168
M 86	Jungfrau	53	-0.0008	-244	+1182
M 87	Jungfrau	55	+0.0044	+1307	+1226
M 85	Haar der Berenike	55	+0.0024	+729	+1241
M 88	Haar der Berenike	62	+0.0076	+2281	+1380
M 58	Jungfrau	64	+0.0051	+1517	+1431
M 109	Grosser Bär	81	+0.0035	+1048	+1917

Tabelle 2: Effektiv gemessene Radialgeschwindigkeiten einiger Messiergalaxien, verglichen mit der distanzabhängigen, kosmologischen «Fluchtgeschwindigkeit».

Modellparameter, angewendet werden. Die Rotverschiebung von 3C273 liegt da bereits deutlich über diesem «Limit». So wird auch verständlich, dass sich renommierte Datenbanken wie CDS [3] und NED/NASA [4] in diesem Distanzbereich auf die Angabe der z-Werte beschränken. Berechnet man hier die «Distanz» trotzdem «klassisch», d.h. gemäss {6}, ergibt sich für 3C273 eine Entfernung von ca. 600 Mpc, entsprechend ca. 2 Mrd Lj. Die etwas streuenden Literaturwerte liegen für 3C273 aber höher, d.h. im Bereich von ca. 2.5 Mrd Lj.

## Veränderungen im Spektrum

Ähnlich wie die Helligkeit von 3C273 (siehe AAVSO [5]) ist sowohl die Intensität als auch die Halbwertsbreite der einzelnen Spektrallinien Schwankungen unterworfen. Dieses Objekt wäre daher ein interessanter Kandidat für ein spektroskopisches Monitoring-Projekt. Zwangsläufig faszinierend ist jedenfalls die Tatsache, dass sich diese, innerhalb kurzer Zeit beobachtbaren Änderungen vor ca. 2.5 Mrd. Jahren ereignet haben, als sich unsere Erde noch im geologischen Zeitalter des Präkambriums befand und sich das Leben auf primitive Einzeller beschränkte.

## Vergleich zu MESSIER's Galaxienwelt

Im Vergleich zum aktuellen Rekordwert von  $z \approx 10$  befindet sich 3C273 mit 0.1583 noch sehr weit vom Rande des aktuell beobachtbaren Universums entfernt. Andererseits bewirken die bescheidenen

z-Werte der MESSIER-Galaxien, dass uns dieses Himmelsareal, im kosmischen Massstab gesehen, extrem klein erscheint. Abb. 7 zeigt die um lediglich ~24 Å rotverschobenen O I-, H $\alpha$ -, N II- und S II Emissionen der SEYFERT-Galaxie M77 entsprechend  $v_f \approx +1137 \text{ km/s}$  (NED [4]). Abschliessend folgen hier noch z-Werte gemäss NED [4] für eine kleine Auswahl aus den 40 MESSIER-Galaxien. Die «kosmologischen Fluchtgeschwindigkeiten» sind hier mit Formel {6} aus den Distanzen  $D$  berechnet worden – positive Werte gleich rotverschoben, negative Werte gleich blauverschoben. Es wird ersichtlich, dass bei den näher gelegenen Objekten die kinematische Eigenbewegung noch klar dominiert. Von den 40 MESSIER-Galaxien streben, entgegen der Raumexpansion, immerhin noch sechs tendenziell in unsere Richtung. Dazu gehören, selbst noch in ~50 Mio Lj Entfernung, M 86 und M98.

## Richard Walker

Im Mattler 24  
CH-8911 Rifferswil  
richiwalker@bluewin.ch

## Links

- [1] RICHARD WALKERS Page mit mehreren Publikationen zum Thema Spektroskopie: <http://www.ursusmajor.ch/astrospektroskopie/richard-walkers-page/>
- [2] SAG Fachgruppe Spektroskopie <http://www.astronomie.info/forum/spektroskopie.php>
- [3] CDS Strassbourg: SIMBAD Astronomical Database <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- [4] NASA Extragalactic Database (NED) <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>
- [5] AAVSO <http://www.aavso.org/>
- [6] <http://www.baader-planetarium.de/dados/dados.htm>